Advances in Cognitive Sciences
Vol 22, No. 3, Autumn 2020
Research Article
Pages 68-78

The relationship between brain activity pattern and math skill: An event-related potential based study

Shiva Taghizadeh[1], Ali Jahan[2], Touraj Hashemi[3], Mohammad Ali Nazari[4*]

1. PhD Student of Cognitive Neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Assistant Professor of Neuroscience, Brain and Cognition Lab, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran
3. Professor of Psychology, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4. Professor of Cognitive Neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Recieved: 19 Mar. 2020
Revised: 23 Aug. 2020
Accepted: 1 Sep. 2020

Keywords
ERP
Math skill
Mental arithmetic
Mismatch negativity

Corresponding author
Mohammad Ali Nazari, Professor of Cognitive Neuroscience, Faculty of Education and Psychology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: Nazaripsycho@yahoo.com

doi.org/10.30699/icss.22.3.68

Abstract

Introduction: Cognitive neuroscience has developed several indicators and tools for use in education. It has also led to the discovery of neuro-markers to assess learning and individual differences. The present study aimed to investigate individual differences in mathematical skills using event-related potentials.

Methods: Thirty-eight right-handed participants were assigned into two groups of high and low math skills. After that, their electroencephalograms were recorded during the completion of a number verification task. The accuracy scores, reaction times, and peak amplitude of the negativity in the 200-400 ms time window were analyzed. Data were analyzed using repeated measures analysis of variance.

Results: The results showed that the high skill group performs better in the accuracy and reaction time than the low skill group ($P<0.001$). The amplitude of the study's ERP component was significantly higher in the high skill group at the parietal area, whereas in the low skill group, the component was more prevalent in frontal and prefrontal areas. Besides, there was a significant difference between the peak amplitude of anterior and posterior areas in the low skill group, while no such difference was observed in the high skill group.

Conclusion: In general, students with different math skills demonstrated different brain activity and the negative component in the time window of the 200-400 ms was different for individual differences in math performance.

Citation: Taghizadeh Sh, Jahan B, Hashemi T, Nazari MA. The relationship between brain activity pattern and math skill: An event-related potential based study. Advances in Cognitive Sciences. 2020;22(3):68-78.

www.SID.ir

مجله تازه‌های علوم شناختی
دوره ۲۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
صفحات ۷۸-۶۸
مقاله پژوهشی

ارتباط بین الگوی امواج مغزی و مهارت ریاضی: مطالعه مبتنی بر پتانسیل وابسته به رویداد

شیوا تقی‌زاده[۱]، علی جهان[۲]، تورج هاشمی[۳]، محمد علی نظری[۴*]

۱. دانشجوی دکتری علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. استادیار علوم اعصاب، آزمایشگاه مغز و شناخت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
۳. استاد گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴. استاد علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹
اصلاح نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

واژه‌های کلیدی
پتانسیل وابسته به رویداد
محاسبات عددی
تفاوت‌های فردی
حساب ذهنی
مهارت ریاضی

نویسنده مسئول
محمد علی نظری، استاد علوم اعصاب شناختی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، تبریز
ایمیل: Nazaripsycho@yahoo.com

doi.org/10.30699/icss.22.3.68

چکیده

مقدمه: علوم اعصاب شناختی در حال حاضر چندین شاخص و ابزار برای استفاده در حوزه آموزش ایجاد کرده است که منجر به کشف نشان‌گرهای عصبی برای ارزیابی و بررسی روند یادگیری و تفاوت‌های فردی شده است. هدف این پژوهش بررسی تفاوت‌های فردی در مهارت‌های ریاضی در سطح سایکوفیزیک و پتانسیل‌های وابسته به رویداد بود.

روش کار: در این مطالعه نیمه تجربی، سی و هشت شرکت‌کننده راست دست از دانشجویان رشته‌های مهندسی و غیر مهندسی در دو گروه با مهارت ریاضی بالا و پایین جای‌گذاری شدند. سپس در حین انجام تکالیف رایانه‌ای محاسبات عددی سیگنال الکتروانسفالوگرام آنها ثبت شد. نمرات دقت و زمان واکنش و دامنه مولفه منفی در پنجره زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌ها با روش تحلیل واریانس مکرر تحلیل شدند.

یافته‌ها: گروه مهارت پایین در دقت و زمان واکنش نسبت به گروه دیگر به طور معنادار عملکرد پایین‌تری نشان داد ($P<۰/۰۰۱$). مولفه پتانسیل وابسته به رویداد مورد مطالعه در منطقه آهیانه‌ای به طور معناداری در گروه مهارت بالا، دامنه بزرگتری داشت، در حالی که دامنه این مولفه در گروه مهارت پایین، در منطقه پیشانی و پیش‌پیشانی بیشتر بود. همچنین، بین دامنه نواحی قدامی و خلفی در گروه مهارت پایین، اختلاف معناداری وجود داشت در حالی که چنین اختلافی در گروه مهارت بالا مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی افراد با مهارت ریاضی متفاوت فعالیت مغز متفاوتی نشان دادند و مولفه منفی در پنجره زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی ثانیه برای تغییرات فردی در عملکرد ریاضی متفاوت بود.

مقدمه

کاربرد علوم اعصاب برای مطالعه پردازش ریاضی موجب درک فراتری از نظریه‌های شناختی اولیه شده است، از جمله این که علاوه بر انسان، نخستی‌ها، دوزیستان و پرندگان نیز به طور ذاتی توانایی تمیز کمیت‌های عددی را دارند. این توانایی، حس عددی (Number sense) نام گرفته است. محققان نشان داده‌اند که «حس عددی» مسئول دانش بنیادی درباره اعداد و روابط آنها است. این سیستم در لوب آهیانه‌ای مغز در هر دو نیمکره واقع شده است (۱) . این سیستم در کودکان و بزرگسالان در انجام تکالیف عددی اولیه فعال است، اما به‌نظر می‌رسد در طول تحول تخصصی‌تر می‌شود. علاوه بر این، کودکان دارای اختلال یادگیری ریاضی در این منطقه نسبت به کودکان معمولی فعالیت ضعیف‌تری

www.SID.ir

نشان می‌دهند. این نتایج نشان می‌دهد چگونه تصویربرداری عصبی می‌تواند اطلاعات مهم در مورد ارتباط بین کارکردهای شناختی پایه و یادگیری سطح بالاتری، مانند مقایسه دو عدد و یادگیری ریاضی ارائه دهد (۲). Dehaene و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند مهارت درک و ادغام مفاهیم اساسی و اولیه عددی، مانند پردازش بزرگی عدد (Numerica magnitude processing) برای ایجاد مهارت پیچیده ریاضیات ضروری است (۱). از این رو، شناسایی پردازش‌های پیش‌بینی‌کننده موفقیت در ریاضیات، به دلایل نظری و عملی بسیار مهم است. مطالعات قبلی چند مهارت اساسی عددی را مشخص کرده است که دانشمندان را قادر می‌سازد افراد را از نظر مهارت‌های مختلف ریاضی ارزیابی کنند. چندین مطالعه تصویربرداری عصبی ارتباط بین فعالیت مغز هنگام انجام تکلیف مقایسه عددی را با پیشرفت ریاضی یافته‌اند (۵-۳).

مطالعات پتانسیل وابسته به رویداد (Event-related potential (ERP)) نشان داده‌اند که عدم‌تطابق محاسباتی (Arithmetic mismatch) در تکالیف شامل عملیات جمع، تفریق و ضرب و تکالیف تطبیق عددی (Number matching tasks)، یک پتانسیل منفی ظاهر می‌کند. مولفه‌ای با خصوصیات مشابه به (MMN) (مولفه‌ای که در مواجهه با محرک متفاوت در یک مجموعه محرک مطابق با هم مشاهده می‌گردد) که در اجرای تکالیف حسابی دیده می‌شود (۶). محققان این پدیده را در پنجره زمانی ۳۰۰-۲۴۰ میلی‌ثانیه گزارش کردند و آن را مولفه عدم‌تطابق منفی حساب (AMN) نامیدند (۷). به طور معمول، AMN در تکالیف تصدیق (Verification) حساب و تطبیق عددی نشان داده شده است. در تکالیف تصدیق حساب، شرکت‌کنندگان عملیات ساده ریاضی (به عنوان مثال ۳ × ۴، ۳ + ۴) با پاسخ درست و نادرست را مشاهده می‌کنند. پاسخ‌های نادرست در مقایسه با پاسخ‌های درست، مولفه AMN منفی‌تری ظاهر می‌شود. در تکالیف تطبیق عددی، شرکت‌کنندگان جفت اعداد را به صورت سریالی مشاهده می‌کنند که ممکن است این دو عدد یا باهم مطابقت و یا عدم تطابق داشته باشند (۸). مقادیر غیر منطبق بیشتر از مقادیر مطابق به ظهور مولفه AMN منجر می‌شود. در مطالعات قبلی، AMN به عنوان یک مولفه منفی در بین ۴۵۰-۲۵۰ میلی‌ثانیه با نام‌های مختلف دیده و ذکر شده بود، به‌عنوان مثال N270، N400، N300 (۹). مولفه AMN به‌عنوان یک شاخص نوروفیزیولوژیک در بررسی چگونگی پردازش و شناخت اعداد در انسان مورد استفاده قرار گرفته است (۸، ۱۰، ۱۱). با این حال، طبیعت کاربردی این اثر هنوز مشخص نشده است. گروهی از محققان در یک تکلیف تصدیق حساب، پتانسیل منفی را (در حدود ۲۷۰ میلی‌ثانیه (N270) بعد از ارائه محرک) برای موقعیت پاسخ نادرست به محاسبه ذهنی پیش‌بینی شده، گزارش دادند. آنها نتیجه گرفتند که این مولفه نشان‌دهنده پردازش درگیری ذهنی درون‌زا در مغز انسان است؛ فرایندی که حاکی از توانایی شناختی عمومی و خودکار است. در آزمایش دیگری با استفاده از تکلیف تمیز عددی نشان دادند که مولفه N270 در این نوع تکالیف نیز برانگیخته می‌شود؛ در این مطالعه، زوج‌های عددی در دو موقعیت تطابق و عدم تطابق ارائه شدند و از شرکت‌کنندگان خواسته شد بگویند که آیا دو عدد نمایش داده شده یکسان است (موقعیت تطابق) یا خیر (موقعیت عدم تطابق)، در موقعیت عدم تطابق به‌ویژه در مناطق مرکزی و پس‌سری، مولفه منفی (N270) را گزارش کردند و این واقعه نوروفیزیولوژیکی را بازتاب پردازش عدم تطابق عدد در مغز تفسیر کردند (۱۱). گروهی از دانشمندان یک مؤلفه منفی را در بازه‌ی زمانی ۴۰۰-۳۳۰ میلی‌ثانیه، در نواحی پیشانی چپ در مقابل آهیانه‌ای راست، به عنوان یک اثر انتظار استراتژیک گزارش کردند و اذعان داشتند که تشخیص تطابق عددی با تشخیص نقض انتظارات استراتژیک به لحاظ زمانی هم‌پوشانی دارند (۱۲).

مطالعات مختلفی به بررسی تفاوت‌های فردی در عملکرد ریاضی در سطح الکتروفیزیولوژیک پرداخته‌اند. به عنوان مثال Nunez-pena و همکاران (۲۰۱۱) با تکلیف حساب (جمع اعداد) با سه سطح سختی (آسان، متوسط و سخت)، تفاوت‌های عملکرد دو گروه افراد ماهر و ضعیف در حساب را با بررسی پتانسیل‌های وابسته به رویداد برانگیخته مطالعه کردند. در این مطالعه پتانسیل های وابسته به مرحله تولید پاسخ مسئله (دومین عملوند در تکلیف حساب) تحلیل و بررسی شد. در هر دو گروه موج مثبت کوتاهی در محدوده زمانی ۸۰۰-۳۰۰ میلی‌ثانیه، گزارش کردند با این تفاوت که در افراد با مهارت بالا تنها در مواجهه با مسائل با درجه سخت، مشاهده می‌شد ولی در افراد ضعیف، در دو حالت متوسط و سخت. محققان این یافته را تفاوت‌های فردی در اتخاذ راهبرد حل مسئله تفسیر کردند؛ به طوری که افراد ضعیف یک راهبرد حل مسئله برای مسائل سخت و متوسط استفاده می‌کنند (۱۳). اخیرا فرساد و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش ERP پردازش‌های شناختی دو گروه ۱۴ نفری متشکل از دانشجویان با دانش عمیق و سطحی از تابع (دارای دانش مفهومی و رویه‌ای عمیق و سطحی) را، با تکلیف تفسیر نمودار تابع مقایسه کردند. نتایج این مطالعه در راستای مطالعات قبلی نشان داد که دامنه مؤلفه P300 گروه دانش سطحی، در الکترودهای نواحی مرکزی، مرکزی آهیانه‌ای و آهیانه‌ای، بیشتر از گروه دانش عمیق است. به طوری که انجام تکلیف تفسیر نمودار تابع، منابع پردازشی بیشتری را برای گروه دانش سطحی فعال می‌کند (۱۴). در مطالعات فوق، پتانسیل‌های وابسته در انواع تکالیف ریاضی بررسی شده است (P300 و ARP) که تاکید بیشتری بر پردازش‌های

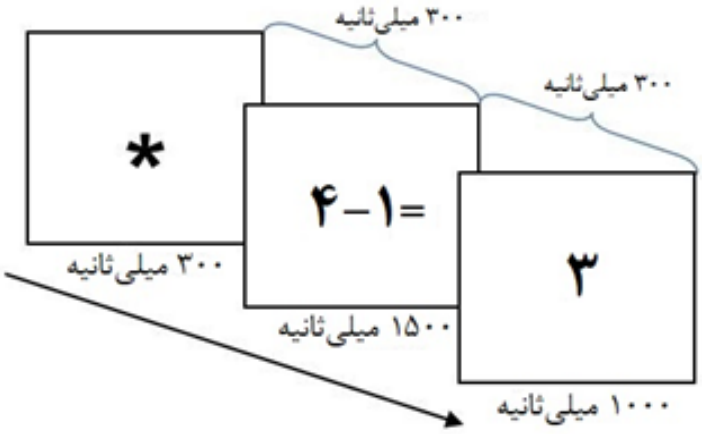
www.SID.ir

پیچیده‌تر و غیرخودکار حساب بوده است. در حالی که با توجه به مطالعات انجام شده مولفه AMN می‌تواند نمود انتظار استراتژیک خودکار باشد. تاثیرپذیری مولفه AMN از سطح تسلط محاسباتی افراد می‌تواند نشان‌دهنده تاثیر مهارت ریاضی بر پردازش‌های خودکار را باشد. لذا این مطالعه به بررسی این سوال می‌پردازد که آیا مولفه (AMN) برانگیخته شده با تکلیف حساب (پتانسیل وابسته به محرک پاسخ)، در افراد دارای مهارت ریاضی بالا با افراد مهارت پایین متفاوت است؟ اگر در مولفه (AMN) بین دو گروه تفاوت وجود داشته باشد، ممکن است این مولفه نیز فعالیت عصبی مربوط به مهارت‌های ریاضی را منعکس کند که در این صورت می‌تواند به عنوان یک مولفه مربوط به حساب در نظر گرفته شود و بتواند به عنوان ابزار مناسبی برای ارزیابی و بررسی روند تحولی افراد در فراگیری محاسبات عددی، در سطح مغز و شناخت به کار برود.

روش کار

این مطالعه با توجه به اهداف از نوع کاربردی و با توجه به شیوه جمع‌آوری داده‌ها از نوع نیمه آزمایشی بود. جامعه آماری شامل دانشجویان دختر و پسر شاغل به تحصیل در رشته‌های مهندسی و علوم انسانی در سال تحصیلی ۹۷-۹۶ در دانشگاه تبریز بود. از جامعه مورد مطالعه ۴۷ نفر (۲۸ زن و ۱۹ مرد) با دامنه سنی ۱۹ تا ۳۳ سال (میانگین سنی ۲۲/۸۵±۴/۳۷ سال) به‌صورت در دسترس و داوطلب انتخاب شدند. شرکت‌کننده‌ها بر اساس سوابق تحصیلی به دو گروه تقسیم شدند (۲۲ نفر گروه مهارت بالا و ۲۵ نفر گروه مهارت پایین). گروه مهارت بالا دارای مدرک دیپلم در علوم ریاضی و مشغول تحصیل در رشته‌های علوم مهندسی در دانشگاه بودند در حالی که گروه مهارت پایین با مدرک دیپلم علوم انسانی در رشته‌های دانشگاهی علوم انسانی با حداقل تقاضای ریاضی در برنامه درسی مشغول تحصیل بودند. اطلاعات مربوط به ۹ شرکت‌کننده به علت وجود داده‌های پرت، خطاهای بالای پنجاه درصد و امواج مزاحم در EEG حذف شدند. بنابراین داده‌های ۳۸ نفر (۲۱ زن و ۱۷ مرد، میانگین سنی ۲۳/۵±۴/۴۲ سال) شامل ۱۸ نفر با مهارت بالا و ۲۰ نفر با مهارت پایین مورد بررسی قرار گرفت. همه افراد فارسی زبان، راست دست و با بینایی طبیعی یا اصلاح‌شده با عینک بودند. بدون سابقه اختلالات یادگیری، اختلال روانی‌عصبی یا استفاده از داروهایی که ممکن است عملکرد عصبی را تحت‌تأثیر قرار دهند. برای اجرای پژوهش رضایت‌نامه کتبی از مشارکت‌کنندگان گرفته شد. همچنین این پژوهش دارای کد اخلاقی از کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تبریز به شناسه (IR.TBZMED.REC.1398.058) است.

ابزار: تکلیف استفاده شده در این پژوهش برای ارائه متغیر مستقل، از تکلیف مورد استفاده در آزمایش Wang و همکاران (۲۰۰۰) اقتباس شده است (۸). که شامل ۱۲۰ آزمایه بود. هر آزمایه با ظهور یک ستاره در مرکز صفحه به مدت ۳۰۰ میلی‌ثانیه آغاز می‌گردید. بعد از ستاره، دو محرک به ترتیب با فاصله ۳۰۰ میلی‌ثانیه روی صفحه نمایش داده می‌شد. محرک اول یک محاسبه ساده عددی (مانند ۸=۵+۳) بود که به مدت ۱۵۰۰ میلی‌ثانیه و محرک دوم عددی بود که به‌عنوان پاسخ محاسبه عددی به مدت ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه ارائه می‌شدند. جواب ارائه شده شامل دو موقعیت می‌شد؛ پاسخ درست (مانند ۳=۱-۴) به عنوان موقعیت ۱، پاسخ نادرست (مانند ۶=۱+۴) به عنوان موقعیت ۲. احتمال ارائه هر دو موقعیت در تکلیف برابر ۵۰ درصد بود. از دو عملیات جمع و تفریق به میزان یکسان استفاده شده بود. همچنین اعداد از ۱ تا ۹ به احتمال ارائه یکسان داشتند. علامت ستاره برای ارائه آزمایه دوم ۲ ثانیه بعد از اتمام ارائه محرک آخر آزمایه اول ظاهر می‌شد. تمام محرک‌ها با رنگ مشکی با زمینه سفید نمایش داده می‌شدند (شکل ۱).



شکل ۱. طرح شماتیک آزمایه‌های ارائه‌شده در تکلیف محاسبات عددی

www.SID.ir

روش اجرا: اتکلیف مورد نظر در صفحه نمایش ۲۱ اینچ در فاصله هفتاد سانتی‌متری از مشارکت‌کننده‌ها نمایش داده شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد با حداقل حرکت فیزیکی در آرامش نشسته و به علامت ستاره در وسط نمایش‌گر نگاه کنند. به آنها گفته شد که یک سری محاسبات ریاضی ساده را مشاهده خواهند کرد، در مورد صحت پاسخ نمایش داده شده در پایان هر مسئله داوری کنند و به محض دیدن محرک پاسخ در موقعیت ۱، کلیک راست و در موقعیت ۲، کلیک چپ را فشار دهند؛ جهت متوازن‌سازی متقابل (Counterbalance)، کلید پاسخ در نیمی از شرکت‌کننده‌ها برعکس بود. برای هر موقعیت، محاسبات ریاضی به طور تصادفی ارائه شد. تکلیف با استفاده از نرم‌افزار eevoke ™ (محصول شرکت ANT هلند) طراحی و اجرا شد. در حین اجرای تکلیف، به صورت همزمان الکتروآنسفالوگرافی شرکت‌کننده‌ها ثبت شد. آزمایش به صورت انفرادی اجرا شد و حدود ۵۰ دقیقه طول کشید. جلسه آزمایش اصلی با یک تمرین کوتاه شروع می‌شد که هیچ یک از محاسبات آزمایش را شامل نمی‌شد.

ثبت پتانسیل وابسته به رویداد: الکتروآنسفالوگرافی افراد به صورت پیوسته با استفاده از کلاه WaveGuard (محصول شرکت ANT، هلند) ۶۴ کاناله مطابق با سیستم بین‌المللی ۱۰/۲۰ متصل به آمپلی‌فایر DC ۶۴ کاناله با نرخ نمونه‌گیری ۲۵۰ هرتز ثبت شد. الکترود زمین AFz بود و سیگنال‌ها نسبت به مرجع متوسط ماستویدها (mastoid Average) ثبت شد. مقاومت بین الکترودها و پوست سر زیر ۱۰ کیلو اهم نگه داشته شد.

پیش پردازش سیگنال: سیگنال‌های الکتروانسفالوگرام به صورت آفلاین با استفاده از نرم‌افزار متلب (جعبه ابزار EEGLAB) ابتدا با فیلتر میان‌گذر ۰/۵ تا ۴۰ هرتز فیلتر شدند. آرتیفکت‌های پلک زدن، حرکات چشم و تنش‌های عضلانی با استفاده از الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های مستقل (ICA) شناسایی و اصلاح شدند. سایر آرتیفکت‌ها نیز به صورت چشمی حذف شدند.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های رفتاری

برای تجزیه وتحلیل داده‌ها در بخش آمار توصیفی، از گزارش فراوانی، میانگین و انحراف معیار و در بخش آمار استنباطی، روش تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برای تحلیل داده‌ها انتخاب شد. نمرات دقت واکنش (درصد پاسخ‌های صحیح به تعداد کل آزمایه‌های هر موقعیت) و زمان واکنش افراد با استفاده از نرم‌افزار eevoke ™ محاسبه شد. برای بررسی‌های آماری از نرم‌افزار SPSS-22 استفاده شد.

داده‌های پتانسیل وابسته به رویداد

سگمنت‌های الکتروانسفالوگرافی از ۲۰۰ میلی‌ثانیه قبل از شروع محرک دوم تا ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه بعد از آن برای میانگین‌گیری استخراج شدند. برای تک تک آزمودنی‌ها میانگین دامنه موج پتانسیل وابسته به رویداد در بازه زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه محاسبه شد. داده‌ها در هشت منطقه مغزی بررسی شدند. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برای بررسی تفاوت میانگین‌ها انجام شد. بدین منظور، متغیر گروه (مهارت پایین و بالا) به عنوان عامل بین‌گروهی و متغیرهای؛ موقعیت (پاسخ درست/نادرست)، منطقه Region (پیش‌پیشانی، پیشانی، پیشانی‌مرکزی، مرکزی، مرکزی‌آهیانه، آهیانه، آهیانه‌پس‌سری، پس‌سری)، نیمکره (چپ، مرکزی، راست) به عنوان عوامل درون‌گروهی در نظر گرفته شدند. در صورت برقرار نبودن فرض کرویت، تصحیح گرین هاوس_گایزر به‌کار رفت.

یافته‌ها

نتایج رفتاری

آمار توصیفی متغیرهای رفتاری این پژوهش در جدول ۱ ذکر شده است. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثر اصلی گروه معنادار است ($F=14/5$، $P=0/001$). یعنی عملکرد (دقت و زمان واکنش) دو گروه به طور معناداری متفاوت است. در بررسی تعقیبی، مقایسه‌های زوجی نشان داد که در هر دو موقعیت، زمان واکنش در گروه مهارت پایین با گروه مهارت بالا تفاوت معناداری دارد ($P=0/001$)، بدین صورت که گروه مهارت بالا سریع‌تر از گروه مهارت پایین پاسخ داده‌اند (شکل ۲. سمت راست). همچنین، گروه مهارت بالا نسبت به گروه مهارت پایین در هر دو موقعیت آزمایشی به طور معناداری ($P=0/001$) دقت واکنش بیشتری نشان دادند (شکل ۲. سمت چپ).

نتایج پتانسیل‌های وابسته به رویداد

در حین این که شرکت‌کنندگان قضاوت می‌کردند که پاسخ ارائه شده برای عملیات ساده ریاضی درست هست یا نه مولفه AMN در پنجره زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه از EEG آنها استخراج گردید. شکل ۳ الگوی مولفه مذکور را در دو موقعیت درست و نادرست به تفکیک دو گروه مورد مطالعه در مناطق قدامی و خلفی نشان می‌دهد. در شکل ۴ نیز به منظور نشان دادن توزیع دامنه این مولفه از نظر مکانی، توپوگرافی تغییرات ولتاژ این مولفه در ۶۴ الکترود ترسیم شده است.

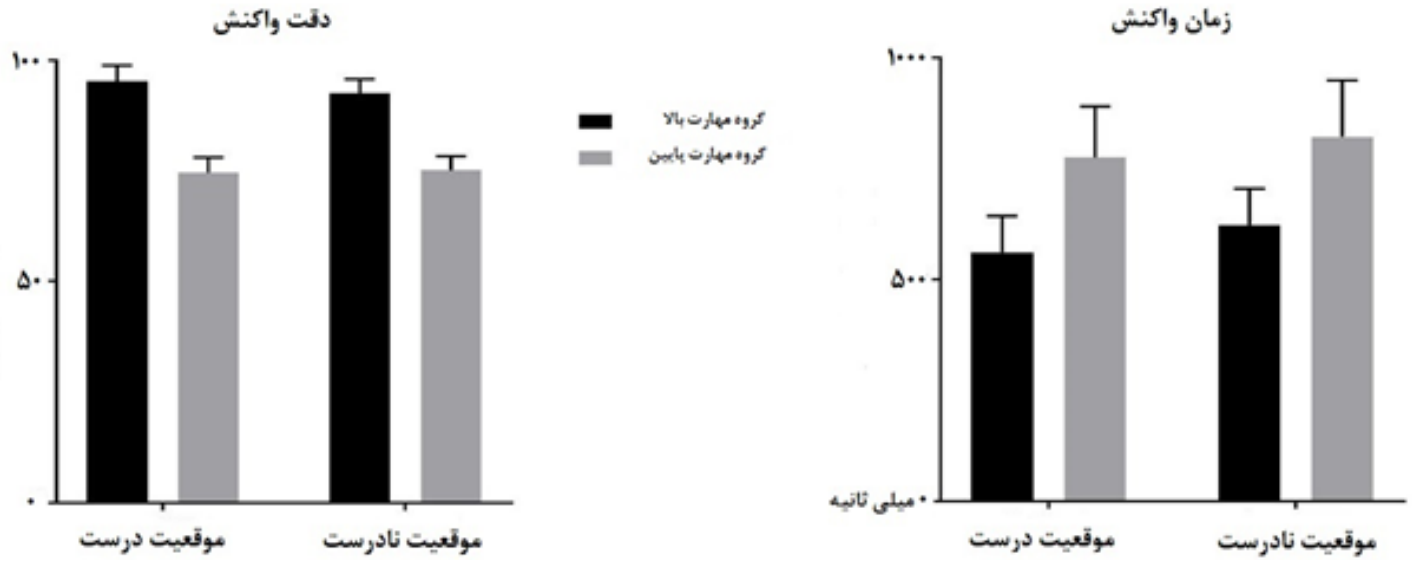
به منظور بررسی معناداری تفاوت میانگین‌های دامنه قله مولفه AMN تحلیل واریانس مکرر انجام شد که خلاصه نتایج آن در جدول ۲ آمده است. این تحلیل وجود تعامل معنادار را بین منطقه مغزی و گروه، موقعیت آزمایش و نیمکره و منطقه مغزی و موقعیت نشان داد. همچنین

www.SID.ir

اثر اصلی عامل‌های موقعیت، ناحیه و نیمکره معنادار بود. همان‌طور که در شکل ۴ و شکل ۵ ب نشان داده شده است، در گروه مهارت پایین به طور معناداری قله مولفه AMN در مناطق پیش‌پیشانی و پیشانی نسبت به مناطق خلفی دامنه منفی‌تر است. علاوه بر این، در موقعیت نادرست نسبت به موقعیت درست دامنه قله بزرگتر بود. در صورتی که در گروه مهارت بالا دامنه قله در مناطق قدامی به خلفی متفاوت نبود (شکل ۴ و شکل ۵ الف). مقایسه‌های زوجی انجام شده در هشت منطقه به طور جداگانه نشان داد که صرف نظر از عوامل گروه و نیمکره، دامنه قله در مناطق پیشانی، پیشانی‌مرکزی، مرکزی و مرکزی‌آهیانه، در دو موقعیت نادرست و درست به طور معناداری متفاوت است (P=۰/۰۰۱).

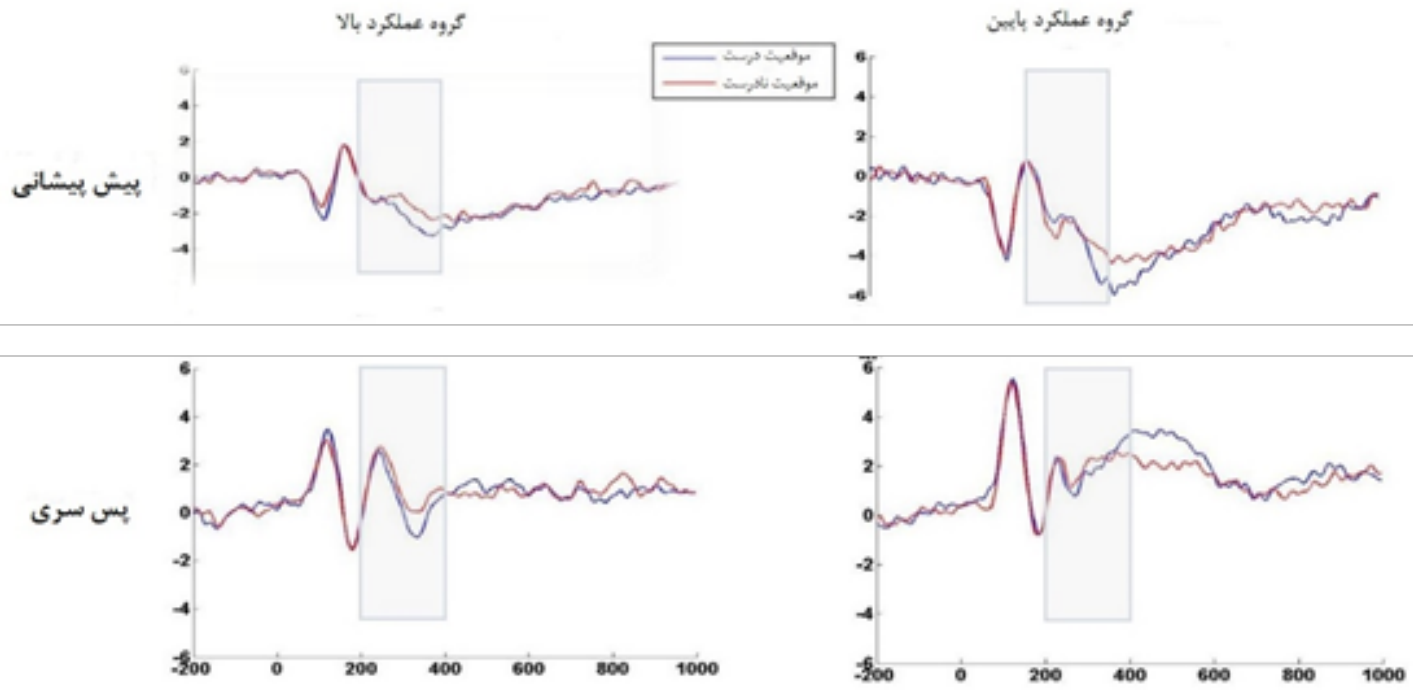
جدول ۱. اطلاعات توصیفی متغیرهای رفتاری پژوهش

گروه	میانگین		انحراف معیار		کمترین		بیشترین		تعداد	
	مهارت بالا	مهارت پایین	مهارت بالا	مهارت پایین	مهارت بالا	مهارت پایین	مهارت بالا	مهارت پایین	مهارت بالا	مهارت پایین
سن	۲۶/۸	۲۰/۴	۳/۸۱	۲/۲۴	۲۱	۱۹	۳۳	۲۹	۱۸	۲۰
دقت واکنش موقعیت درست	۹۵/۳	۷۴/۷	۵/۰۸	۲۰/۶	۸۰	۳۶/۷	۱۰۰	۹۸/۳	۱۸	۲۰
زمان واکنش موقعیت درست	۵۶۳	۷۷۵	۸۴/۴	۱۱۶	۴۳۳	۵۹۷	۶۹۶	۹۶۸	۱۸	۲۰
دقت واکنش موقعیت نادرست	۹۲/۴	۷۶/۷	۵/۷۳	۱۵/۸	۷۶/۷	۴۱/۱	۹۷/۸	۹۵/۶	۱۸	۲۰
زمان واکنش موقعیت نادرست	۶۲۸	۸۲۳	۸۲	۱۲۶	۴۲۴	۶۰۹	۷۴۳	۱۰۳۸	۱۸	۲۰

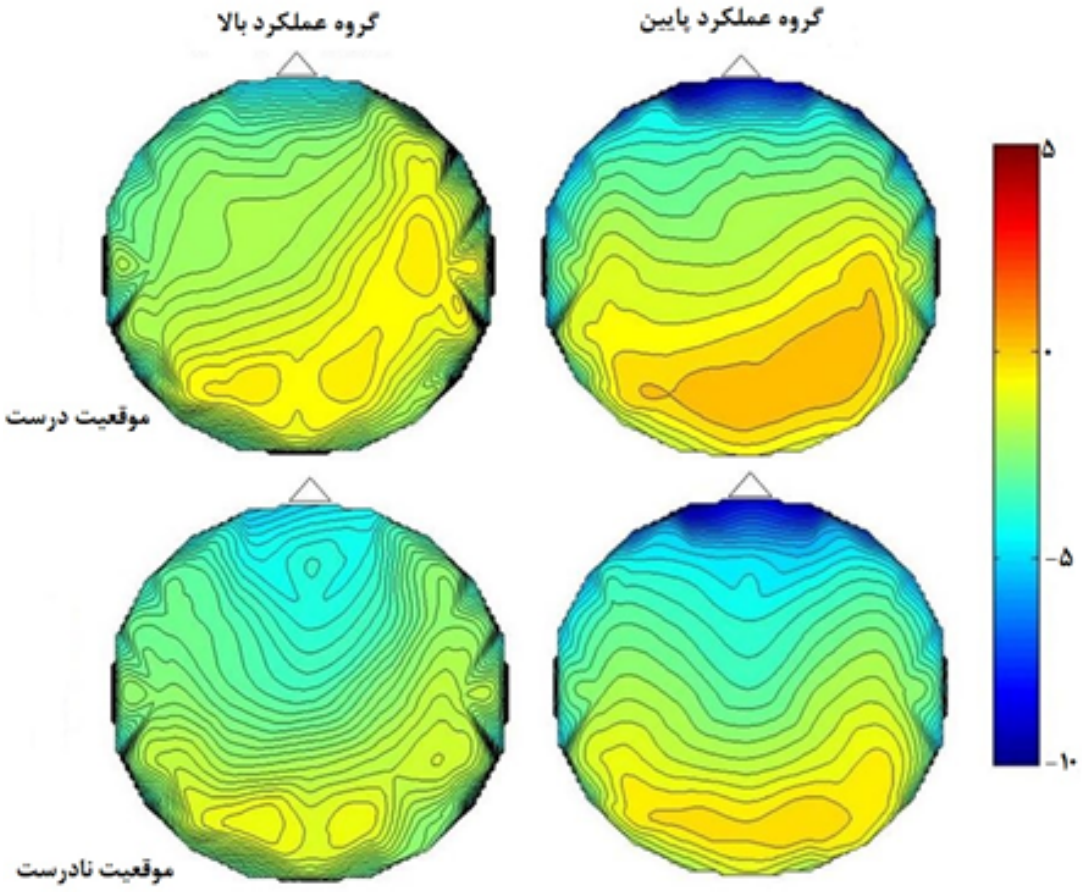


شکل ۲. دقت واکنش (درصد پاسخ‌های صحیح) و زمان واکنش (میلی‌ثانیه) برحسب دو موقعیت آزمایشی به تفکیک دو گروه دارای مهارت بالا و پایین

www.SID.ir



شکل ۳. الگوی مولفه AMN در پنجره زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه در الکترودهای پیش پیشانی و پس‌سری در دو موقعیت آزمایشی به تفکیک گروه‌ها دامنه ولتاژ موج‌ها ۶ ± میکرو ولت (µv) است.

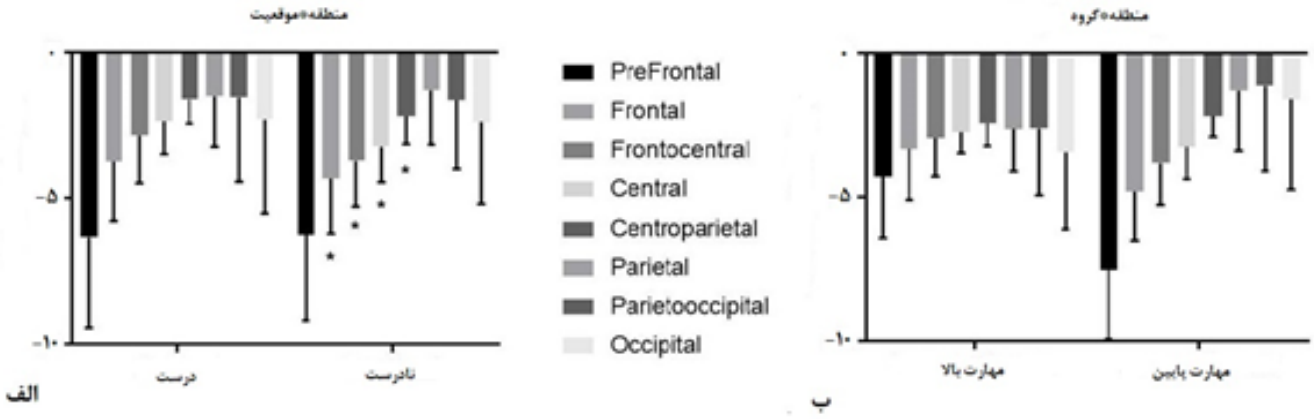


شکل ۴. توپوگرافی تغییرات ولتاژ (میکرو ولت µv) قله مولفه AMN در دو موقعیت آزمایشی در گروه مهارت بالا و گروه مهارت پایین. در هر دو موقعیت ولتاژ مناطق قدامی به طور معناداری سیر منفی‌تری از نواحی خلفی دارد. در حالی که این روند در گروه مهارت بالا معنادار نیست.

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس مکرر

منبع تغییرات	F	درجه آزادی	P	η_p^2
موقعیت	۱۷/۸۹۳	۱	<۰۰۱/	۰/۳۳۲
نیمکره	۴/۶۰۸	۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۳
منطقه	۲۶/۷۷۲	۷	<۰۰۱/	۰/۴۲۷
منطقه×گروه	۸/۰۶۸	۷	<۰۰۱/	۰/۱۸۳
موقعیت×نیمکره	۱۲/۰۵۵	۷	<۰۰۱/	۰/۲۵۱
موقعیت×منطقه	۳/۴۱۹	۷	۰/۰۰۲	۰/۰۸۷



شکل ۵ الف. اثر تعامل منطقه و موقعیت. صرف نظر از گروه، دامنه قله در مناطق علامت‌گذاری شده با *، در دو موقعیت نادرست و درست به طور معناداری متفاوت است. ب. اثر تعامل منطقه و گروه. دامنه قله در مناطق قدامی و خلفی در گروه مهارت پایین با گروه مهارت بالا متفاوت است.

بحث

این مطالعه با هدف بررسی مولفه AMN به عنوان یک شاخص عصب‌زیستی، در ارزیابی تفاوت‌های فردی در فرایند یادگیری محاسبات عددی در دو گروه دارای مهارت بالا و پایین انجام شد. از این رو، مدولاسیون دامنه این مولفه با سطح مهارت بین گروه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، توپوگرافی متفاوت در فعالیت عصبی برای افراد مهارت پایین و بالا در پنجره زمانی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه مشاهده شد. با توجه به نتایج رفتاری، عملکرد گروه مهارت بالا در مقایسه با گروه مهارت پایین، دقیق‌تر و سریع‌تر بود. این یافته همسو با مطالعات قبلی بوده و در تایید رابطه میان تفاوت‌های فردی در مهارت‌های ریاضی و عملکرد فرد در تکالیف پردازش عدد مانند تکلیف مقایسه عددی می‌باشد: عملکرد ضعیف در این تکالیف با مهارت‌های ضعیف در ریاضیات هم‌بسته است (۴، ۱۲، ۱۶). همچنین برخی مطالعات نشان داده‌اند که تفاوت‌های فردی در درک ناهم‌خوانی (Incongruity) با عملکرد ریاضی مرتبط است (۱۷، ۱۸). هم‌چنین به لحاظ انواع پردازش شناختی پایه‌ای برای حل مساله، مطالعات نشان دادند که استراتژی پاسخ افراد با مهارت بالا برای دستیابی به نتیجه محاسبه عددی متفاوت است. این افراد برای محاسبات کوچک و متوسط نتیجه را از حافظه بازیابی می‌کنند در حالی که افراد کم مهارت فقط جواب‌های با اندازه‌های کوچک را از حافظه بازیابی می‌کنند و برای اندازه‌های متوسط محاسبه می‌کنند (۱۳).

در این مطالعه، دامنه مولفه AMN در نواحی پیشانی، پیش‌پیشانی و آهیانه در دو گروه آزمایشی متفاوت دیده شد. اخیرا در مطالعه‌ای از نوع فراتحلیل، مطرح شده است که نواحی پیشانی و آهیانه می‌تواند همبسته عصبی سیستم عمومی پردازش اندازه عدد باشد (۱۹). در مطالعه حاضر، در گروه مهارت پایین، دامنه این مولفه در نواحی پیش‌پیشانی و پیشانی منفی‌تر مشاهده شد، این یافته می‌تواند مرتبط با یک سیستم پردازش عددی رشد نیافته (Underdeveloped) در این گروه باشد. در حالی که گروه مهارت بالا که عملکرد بهتری در تکلیف داشتند در منطقه آهیانه دامنه بزرگتری نشان دادند. این یافته

www.SID.ir

همسو با مطالعات قبلی که نشان داده‌اند کودکان با ناتوانی یادگیری و افراد با مهارت پایین در ریاضی نسبت به همسالان خود، در مهارت‌های پردازش عددی پیشرفت کندتری دارند (۲۰). یک مطالعه فراتحلیل، با مرور و بررسی تحقیقات تصویربرداری عملکردی در مورد پردازش عدد، نشان می‌دهد که علی‌رغم مناطقی از مغز که در طی حساب و فرآیند پردازش عدد با هم همپوشانی دارند، قشر پیش‌پیشانی به طور مشخص در حساب بیشتر درگیر است تا پردازش عدد. این ممکن است نشان‌دهنده مشارکت بیشتر منابع شناختی، مانند حافظه کاری، در حین انجام محاسبات باشد (۲۰).

در همین راستا، در مطالعه حاضر مشاهده شد که افراد با پتانسیل منفی بزرگتر در منطقه آهیانه مغز عملکرد بالاتر در تکلیف نشان دادند که احتمالاً این می‌تواند نشان دهد که پردازش عدد در این گروه به طور خودکار صورت می‌گیرد و مهارت‌های ریاضی پیشرفته‌تری دارند. این فرض در راستای یافته‌های Gonzalez-Garrido و همکاران (۲۰۱۸) در تجزیه و تحلیل هم‌نوسانی الکتروانسفالوگرام کودکان با مهارت‌های مختلف ریاضی می‌باشد. آنان نشان دادند که در کودکان با مهارت ریاضی بالاتر، هم‌نوسانی باند فرکانسی بتا در نواحی آهیانه متمرکز است و این موضوع می‌تواند بازتاب پردازش عددی در درجات بالاتر خودکار شده و تخصصی‌تر شدن سیستم پردازش عددی در این کودکان باشد (۱۷). نتیجه دیگر مطالعه حاضر این است که دامنه مولفه برانگیخته شده در موقعیت پاسخ نادرست در نواحی پیشانی، پیشانی_مرکزی، مرکزی و مرکزی_آهیانه‌ای نسبت به موقعیت پاسخ درست، به طور معناداری بزرگتر بود. این نتیجه همسو با یافته‌های قبلی در مطالعات پتانسیل وابسته به رویداد در مورد پردازش عدد است. مطالعه‌ای مؤلفه منفی را در ۲۷۰ میلی‌ثانیه پس از محرک دوم (در تکلیف تمیز عددی موقعیت عدم تطابق عدد) در محور میانی نواحی مرکزی و پس‌سری گزارش کرده است (۱۱). همچنین در مطالعه‌ای مشابه، یک مؤلفه منفی در موقعیت پاسخ‌های نادرست در پنجره زمانی بین ۲۰۲ تا ۳۴۰ میلی‌ثانیه گزارش شده است (۸). Zhou و همکاران (۲۰۰۶) در همان پنجره زمای مولفه منفی N240 را گزارش کردند که در موقعیت عدم تطابق عددی آشکار شده و بزرگترین دامنه را در نواحی پیشانی_مرکزی داشت (۲۱). Hsu و Szucs (۲۰۱۱) از تکلیف تطبیق عددی برای مطالعه پتانسیل‌های وابسته در فرایند پردازش عددی استفاده کردند و مولفه AMN را در الکترودهای آهیانه‌ای مشاهده کردند. دامنه این مولفه در موقعیت عدم تطابق بزرگتر بود. این محقیق این مؤلفه را پتانسیل وابسته به تشخیص عدم تطابق با توجه به پردازش نقض انتظارات استراتژیک تفسیر کردند (۷). تفاوت دامنه AMN بین دو موقعیت (پاسخ درست و نادرست) ممکن است بازتاب تفاوت در نحوه فعال‌سازی در این دو نوع پاسخ باشد. دامنه منفی بزرگتر ممکن است یا به عنوان یک نیاز پردازش بیشتر برای توجه تفسیر شود، یا به صورت نمود عصبی تشخیص عدم تطابق بین پاسخ ارائه شده و پاسخ مورد انتظار همسو با ادبیات پژوهش، بهتر است افزایش دامنه در این مولفه را به عنوان یک بازتاب الکتروفیزیولوژیکی مرتبط با تشخیص عدم تطابق (Detecting stimulus mismatch)، و نه شاخص نیاز به پردازش بیشتر، تفسیر کنیم (۲۲).

به طور خلاصه، دامنه متفاوت AMN که در این تحقیق در افراد مهارت بالا و پایین دیده شد، ممکن است اثر تسلط حساب در یک فرآیند شناختی اولیه مانند انتظار استراتژیک را نشان دهد. به عبارت دیگر، در این مطالعه الگوی متفاوت فعالیت مغزی برای دو گروه (مهارت ریاضی بالا و پایین) دیده شد که می‌تواند گویای این احتمال باشد که تسلط بر فرایندهای شناختی انتزاعی مانند حساب بر روند عمومی و خودکار انتظار استراتژیک تأثیر می‌گذارد.

به طور کلی مطالعات رفتاری و شناختی کافی در مورد تفاوت‌های فردی در پردازش عدد و مقایسه عددی وجود دارد که نشان می‌دهند عملکرد افراد در این فرایندهای عددی می‌تواند به عنوان یک پیش‌بینی‌کننده قوی از توانایی حساب و ریاضی کودکان در سنین مدرسه در نظر گرفته شود (۲۳، ۲۴). در کنار این مطالعات رفتاری، اطلاعات پتانسیل وابسته بدست آمده در این مطالعه می‌تواند تصویر بدست آمده در مطالعات رفتاری‌شناختی را در این حوزه کامل کند.

نتیجه‌گیری

عوامل شناختی و پردازش اطلاعات نقش مهمی در مراحل یادگیری به ویژه مراحل اولیه آن دارند. کاربرد علوم اعصاب برای مطالعه پردازش ریاضی موجب درک فراتری از نظریه‌های شناختی اولیه شده است. تفاوت‌های فردی در عملکرد ریاضی توسط یک پتانسیل منفی به عنوان یک همبسته عصبی هنگام انجام تکلیف تأیید حساب نشان داده شده است. نتایج حاضر نشان می‌دهد که مهارت‌های مختلف ریاضی نشان‌دهنده درجه‌های متفاوت از تخصص سیستم پردازش عددی است که احتمالاً در چندین شبکه عصبی پیچیده با توزیع توپوگرافی متفاوت درگیر است. علاوه بر این، توانایی تمیز تسلط ریاضی در سطح عصبی در زمینه‌های آموزشی و بالینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که در این زمینه‌ها تشخیص فرآیند عصبی‌شناختی مسئول در بروز اختلال مهم است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از رساله دکتری علوم اعصاب شناختی در دانشگاه تبریز

www.SID.ir

است و با حمایت مالی ستاد راهبری توسعه علوم و فناوری‌های شناختی (کد ۶۲۱۴) و همکاری آزمایشگاه علوم اعصاب آزمایشگاه علوم دانشگاه تبریز صورت گرفته است. از مدیریت آزمایشگاه و تمام دانشجویان شرکت‌کننده که در انجام مطالعه همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*. 2003;20(3-6):487-506.

2. Temple E, Posner MI. Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1998;95(13):7836-7841.

3. Durand M, Hulme C, Larkin R, Snowling M. The cognitive foundations of reading and arithmetic skills in 7-to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2005;91(2):113-136.

4. Holloway ID, Ansari D. Mapping numerical magnitudes onto symbols: The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2009;103(1):17-29.

5. Mundy E, Gilmore CK. Children's mapping between symbolic and nonsymbolic representations of number. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2009;103(4):490-502.

6. Naatanen R, Paavilainen P, Rinne T, Alho K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*. 2007;118(12):2544-2590.

7. Hsu YF, Szucs D. Arithmetic mismatch negativity and numerical magnitude processing in number matching. *BMC Neuroscience*. 2011;12(1):83.

8. Wang Y, Kong J, Tang X, Zhuang D, Li S. Event-related potential N270 is elicited by mental conflict processing in human brain. *Neuroscience Letters*. 2000;293(1):17-20.

9. Jost K, Hennighausen E, Rosler F. Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: Effects of problem size and sentence constraint on event-related brain potentials. *Psychophysiology*. 2004;41(1):46-59.

10. Szucs D, Csepe V. The effect of numerical distance and stimulus probability on ERP components elicited by numerical incongruencies in mental addition. *Cognitive Brain Research*. 2005;22(2):289-300.

11. Kong J, Wang Y, Zhang W, Wang H, Wei H, Shang H, et al. Event-related brain potentials elicited by a number discrimination task. *Neuroreport*. 2000;11(6):1195-1197.

12. Avancini C, Soltesz F, Szucs D. Separating stages of arithmetic verification: An ERP study with a novel paradigm. *Neuropsychologia*. 2015;75:322-329.

13. Nunez-Pena MI, Gracia-Bafalluy M, Tubau E. Individual differences in arithmetic skill reflected in event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*. 2011;80(2):143-149.

14. Farsad N, Alamolhodaei H, Moghimi A, Moghimi S, Jabbari Nooghabi M. A comparative study of cognitive processes in students with deep versus superficial knowledge on interpreting graphs of mathematical functions based on Event-Related Potential. *Advances in Cognitive Sciences*. 2020;21(4):46-57.

15. De Smedt B, Gilmore CK. Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2011;108(2):278-292.

16. De Smedt B, Verschaffel L, Ghesquiere P. The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2009;103(4):469-479.

17. Gonzalez-Garrido AA, Gómez-Velazquez FR, Salido-Ruiz RA, Espinoza-Valdez A, Velez-Perez H, Romo-Vazquez R, et al. The analysis of EEG coherence reflects middle childhood differences in mathematical achievement. *Brain and Cognition*. 2018;124:57-63.

18. Mussolin C, Noel M-P. Automaticity for numerical magnitude of two-digit Arabic numbers in children. *Acta Psycholog-*

www.SID.ir

ica. 2008;129(2):264-272.

19. Sokolowski HM, Fias W, Mousa A, Ansari D. Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *Neuroimage*. 2017;146:376-394.

20. Geary DC, Hoard MK, Nugent L, Bailey DH. Adolescents' functional numeracy is predicted by their school entry number system knowledge. *PloS One*. 2013;8(1):e54651.

21. Zhou X, Chen C, Dong Q, Zhang H, Chen C, Qiao S, et al. Numerical distance effect in the N240 component in a number-matching task. *Neuroreport*. 2006;17(10):991-994.

22. Szucs D, Soltesz F, Czigler I, Csepe V. Electroencephalography effects to semantic and non-semantic mismatch in properties of visually presented single-characters: The N2b and the N400. *Neuroscience Letters*. 2007;412(1):18-23.

23. De Smedt B, Noel M-P, Gilmore C, Ansari D. How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children's mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends in Neuroscience and Education*. 2013;2(2):48-55.

24. Lyons IM, Price GR, Vaessen A, Blomert L, Ansari D. Numerical predictors of arithmetic success in grades 1–6. *Developmental Science*. 2014;17(5):714-726.

www.SID.ir